

PLANTA DIDÁTICA EÓLICO ELÉTRICA PARA BOMBEAMENTO DE PEQUENO PORTE

LUIZ CARLOS NASCIMENTO LOPES (IFSertão Pe) - luiz.nascimento@ifsertao-pe.edu.br

Francisco Jônatas Siqueira Coelho (IF Sertão) - jonatas.coelho@ifsertao-pe.edu.br

Marcos Antonio Andrade Silva (IFSertão-PE) - marcos.andrade@ifsertao-pe.edu.br

Poliana Silva (IF Sertão) - poli_slv@hotmail.com

Manuel Rangel Borges Neto (IFSertão-PE) - manuel.rangel@ifsertao-pe.edu.br

Resumo:

O crescimento da demanda por energia elétrica e a necessidade de leva-la até locais geograficamente isolados se mostram como uma janela para difundir o uso de fontes de energias limpas e renováveis, uma vez que empregá-las em comunidades isoladas, com baixa demanda de energia, se mostra mais viável que construir de novas linhas de transmissão. No Nordeste Brasileiro muitas comunidades, geograficamente isoladas ou de difícil acesso, apresentam também problemas ligados a escassez de água, mesmo tendo um forte potencial para geração de energia eólica ou solar. Dessa maneira este trabalho relata o desenvolvimento e a montagem de um sistema eólico elétrico experimental, voltado para o bombeamento de água. O sistema construído é composto de um aerogerador, um motor de indução trifásico, uma bomba e um controlador. A planta foi monitorada durante um ano e os dados coletados mostram a viabilidade de uso da mesma

Palavras-chave: *Energia Eólica, Bombeamento*

Área temática: *Outras fontes renováveis de energia*

Subárea temática: *Simulação, análise, equipamentos e sistemas de conversão eólica para eletricidade*

PLANTA DIDÁTICA EÓLICO ELÉTRICA PARA BOMBEAMENTO DE PEQUENO PORTE

Luiz Carlos Nascimento Lopez – luiz.nascimento@ifsertao-pe.edu.br

Francisco Jônatas Siqueira Coelho – jonatas.coelho@ifsertao-pe.edu.br

Marcos Antonio Andrade Silva – marcos.andrade@ifsertao-pe.edu.br

Poliana Silva – poliana.silva@ifsertao-pe.edu.br

Manuel Rangel Borges Neto – manuel.rangel@ifsertao-pe.edu.br

IF Sertão Pernambucano – Campus Petrolina, Grupo de Pesquisa de Energia no Meio Rural

Resumo. O crescimento da demanda por energia elétrica e a necessidade de levá-la até locais geograficamente isolados se mostram como oportunidade para difundir o uso de fontes de energias limpas e renováveis, uma vez que empregá-las em comunidades isoladas, com baixa demanda de energia, se mostra mais viável que construir de novas linhas de transmissão. No Nordeste Brasileiro, muitas comunidades, geograficamente isoladas, ou de difícil acesso, apresentam também problemas ligados a escassez de água, mesmo tendo um forte potencial para geração de energia eólica ou solar. Dessa maneira, este trabalho relata o desenvolvimento e a montagem de um sistema eólico elétrico experimental, voltado para o bombeamento de água. O sistema construído é composto de um aerogerador, um motor de indução trifásico, uma bomba e um controlador. A planta foi monitorada durante um ano e os dados coletados mostram a viabilidade de uso da mesma.

Palavras-chave: Energia Eólica, Bombeamento d'água.

1. INTRODUÇÃO

Atender à demanda por energia nos grandes centros urbanos, em zonas remotas ou em localidades de difícil acesso tem se mostrado um desafio comum à grande maioria dos países, ainda mais num cenário onde cresce o apelo por desenvolvimento sustentável, geração de energia limpa e conservação do meio ambiente.

Por outro lado, a matriz energética mundial se baseia na queima de combustíveis fósseis (Lazaroiu, 2015), lançando na atmosfera grandes quantidades de CO₂. Pesquisas mostram que ações humanas provocaram, desde o início do século XX, um aumento de 0,6 °C na média global da temperatura da superfície terrestre (Navidi, 2017).

Como forma de minimizar os impactos negativos no meio ambiente e atender à crescente demanda por energia, buscou-se diversificar a matriz energética mundial através de meios limpos e renováveis, encabeçadas pelas fontes de geração de energia fotovoltaica e eólica.

O vento é uma fonte de energia limpa, livre e inesgotável e ao contrário das fontes de geração fotovoltaica, é capaz de gerar energia também no período da noite. De acordo com Balanço Energético Nacional (Ministério De Minas E Energia, 2018), no Brasil, entre 2016 e 2017, a oferta de energia eólica cresceu 26,5%, chegando a 12.283 MW de potência instalada.

Do ponto de vista social, o uso de pequenos geradores de energia eólica, pode levar eletricidade de forma mais barata para comunidades isoladas, uma vez que quando a demanda por energia elétrica é relativamente baixa e as distâncias são longas, os custos de construção de linhas de transmissão e distribuição se tornam inviáveis para as distribuidoras de energia. Outra vantagem é que aerogeradores evitam desapropriações de grandes áreas e o remanejamento da população, como acontece, por exemplo, na construção de grandes usinas hidrelétricas. É possível ainda a compatibilidade entre produção de eletricidade a partir do vento e o uso da terra para pecuária e agricultura (Custódio, 2009).

Outro fator que deve ser considerado, é que adoção de fontes de energias renováveis produzem novos empregos, contribuindo para geração de renda da localidade onde os geradores estão instalados.

Análises dos dados de vento de algumas regiões do Nordeste brasileiro mostram alto potencial para geração de energia eólica, uma vez que, durante o ano, o vento nessa região tem velocidades médias altas, pouca variação de direção e pouca turbulência. Porém, apesar da vocação para geração de energia limpa, muitas dessas regiões têm características semiáridas e apresentam problemas da escassez de água.

Cataventos mecânicos de múltiplas pás, conforme modelo mostrado na Fig. 1, tem sido usado desde a antiguidade para bombear água do solo em várias regiões do mundo, inclusive no Nordeste brasileiro, que apesar do baixo índice pluviométrico, dispõe de uma boa quantidade de água subterrânea.

Neste tipo de catavento, o movimento do vento gira as pás, que, por sua vez, giram um eixo central utilizado para fazer rodar um Parafuso de Arquimedes ou acionar um pistão, que, por sua vez impulsiona “pacotes de água” ao longo de uma tubulação até o ponto de fornecimento.



Figura 1 - Cataventos mecânicos de múltiplas pás.

Porém nem sempre o ponto ótimo para captação de vento coincide com a fonte de captação de água, fato que pode tornar o uso de cataventos mecânicos inviáveis em algumas aplicações de bombeamento de água. Sem falar na complexidade mecânica desses dispositivos. Como alternativa, aerogeradores em conjunto com bombas d'água elétricas podem ser instalados longe um do outro, bastando apenas que a energia gerada pelo do aerogerador chegue à bomba d'água através de cabos elétricos. Deste modo, os sistemas de bombeamento de água implementados com pequenos aerogeradores e motobombas se mostram como uma alternativa economicamente viável para potencializar a extração de água subterrânea em localidades isoladas.

Diante do exposto, este trabalho detalha a construção e os elementos de uma planta de bombeamento de água de pequeno porte alimentador por um aerogerador, usada para fins de estudo da dinâmica de comportamento desses sistemas. Essa planta foi montada na Universidade Federal do Ceará no Campus Pici.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema proposto é composto de um aerogerador, na forma de uma máquina síncrona de imã permanente (PMSG), operando como com potência de 1 kW, um controlador carga *on/off* usado para controlar o acionamento do motor assíncrono de acionamento da bomba d'água, um poço profundo, que constitui o ponto de captação de água do subsolo, e um reservatório elevado, usado para armazenar energia potencial com o armazenamento da água bombeada. A topologia descrita é mostrada na Fig. 2.

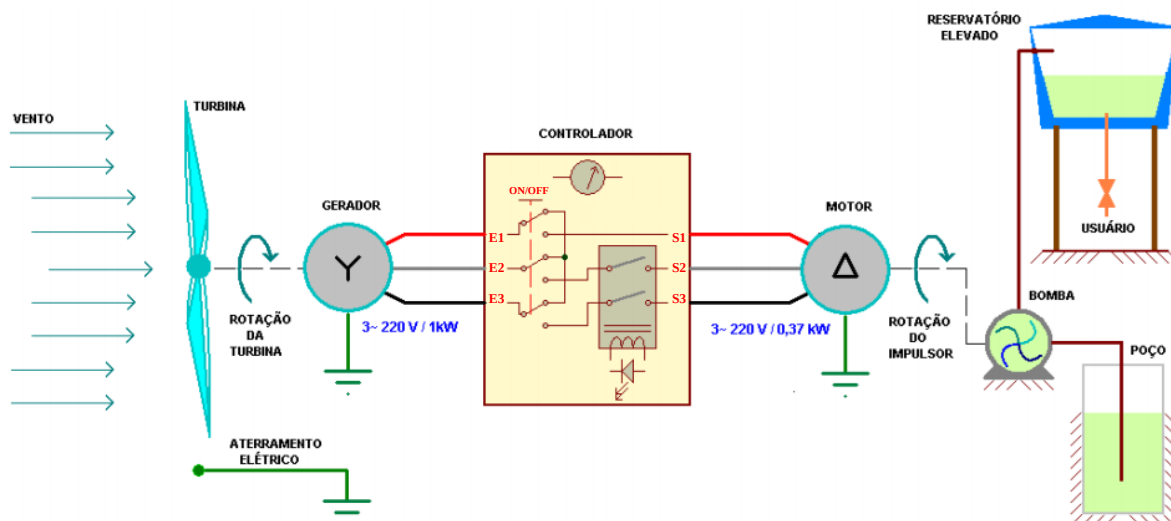


Figura 2 - A topologia eólio-elétrica e hidráulica do sistema.

Na ocorrência de vento em velocidade adequada, na faixa de 3 e 12 m/s, as pás irão se movimentar, transformando a energia eólica, na forma de deslocamento linear do vento, em energia mecânica e, por conseguinte, em energia elétrica. A eletricidade produzida pelo aerogerador é em corrente alternada do tipo trifásica, e a depender da velocidade do vento, pode alcançar até 220 V a uma frequência de 60 Hz. Essas características permitem que a saída do

aerogerador acione diretamente cargas CA menos sensíveis, como, por exemplo, bombas hidráulicas. A Tab. 1 mostra as características técnicas do aerogerador utilizado.

Tabela 1 - Características técnicas do aerogerador.

Características do Aerogerador	
Diâmetro da hélice	2,46 m
Potência de saída a 12m/s	1000 W
Potência máxima de saída a 13m/s	1050 W
Número de pás	3
Velocidade de partida (vento)	2,0 m/s
Torque de partida	0,3 Nm
Controle de velocidade	Estol Ativo
Proteção para altas velocidades	Controle de passo
Sistema magnético	Neodímio
Sistema elétrico	Trifásico
Tensão de saída	220 V
Topologia (gerador)	Fluxo axial
Peso total	22 kg
Material Antioxidante	Alumínio / Inox

O gerador deste sistema é do tipo síncrono de ímã permanente (PMSG) que consiste em um estator trifásico e um rotor com ímãs permanentes. O sistema magnético desta máquina é do tipo fluxo axial.

O controlador mede a frequência da tensão de saída do gerador, a qual depende da velocidade do vento, e define, dentro de uma faixa de frequências, quando a bomba deve ser acionada. Quando a frequência da tensão do gerador ultrapassar 37 Hz, o que garante uma tensão de aproximadamente 136 V, a bomba é acionada, quando a frequência da tensão do gerador cair abaixo de 25 Hz, o que corresponde a uma tensão de cerca de 92 V, a alimentação da bomba é interrompida. Essa janela de frequências permite que o controlador acione o motor da bomba com níveis de tensão adequados. Vale ressaltar que, conforme mostrado na Fig. 1, o gerador está eletricamente conectado em estrela e o motor está em triângulo.

Para o acionamento da bomba d'água, principal componente do sistema hidráulico, fez-se uso de um motor de indução assíncrono, alimentado em corrente alternada, o qual disponibiliza em sua saída uma potência mecânica de ½ cv, quando alimentado por uma tensão trifásica de 220/380 V a uma frequência de 60 Hz. Optou-se por esse tipo de motor devido a sua construção simples e resistente, bem como sua popularidade em lojas de material elétrico.

O motor assíncrono também apresenta como vantagem um custo relativamente pequeno para mesma potência quando comparado com os motores de corrente contínua. Este fato contribui com a redução do custo global de implantação e manutenção de uma unidade eólica de bombeamento de água. Além do mais o rotor do motor, do tipo gaiola de esquilo, não requer comutador, o qual reduz a necessidade de manutenção, por desgaste de escovas. As características do motor são mostradas na Tab. 2.

Tabela 2 - Características Eletromecânicas do Motor.

Características Mecânicas			Características Elétricas						
Eixo	N (rpm)	Temp (°C)	P _m (CV)	V _{CA} (V)	I (A)	FP	f (Hz)	Polos	FS
Ø 5/8"	3450	70	1/2	220/380	1,7/1,4	0,8	60	2	1,1

A bomba centrífuga acoplada ao motor é uma turbomáquina de uso geral, usada para bombear líquidos na irrigação agrícola, em edifícios residenciais, no saneamento básico, na indústria em geral, recalçando, pressurizando ou transportando líquidos de um lugar para outro. Ela possui proporção reduzida e é projetada para transferir líquidos que não contenham sólidos em suspensão e que não seja quimicamente abrasivo. A Tab. 3 mostra os valores de vazão em função da altura manométrica para o conjunto motor-bomba usada no sistema proposto.

Tabela 3 – Vazão da Bomba em função da altura manométrica

Tubulação Sucção/ Elevação (bps)	AMT max. (mca)	Altura Manométrica Total (metros de coluna de água)									
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
		Vazão (m³/h)									
	23	9,0	8,3	7,6	6,9	6,1	5,2	4,3	3,3	2,0	0,8

Para ler e armazenar as grandezas físicas das mais variadas naturezas envolvidas no sistema proposto, fez-se uso de um conjunto de sensores, um *datalogger* e um analisador de energia. Os sinais elétricos dos transdutores, localizados em pontos estratégicos do sistema, são aplicados às entradas do *datalogger* através de atenuadores baseados em redes resistivas, de modo a prevenir contra níveis de tensão acima de 2500 mV. A leitura de variáveis é realizada a cada dois segundos e armazenada em memória. Ao analisador de energia coube o papel de ler os dados referentes a geração de energia do aerogerador.

Os sensores usados na planta foram, um anemômetro, com o objetivo de medir a velocidade do vento e relaciona-la com a potência de geração do aerogerador, um tacômetro, com a finalidade de medir a velocidade angular do eixo da bomba para as diversas condições de funcionamento da mesma, um transdutor de pressão e de vácuo, o primeiro usado para medir a pressão na saída da bomba e o segundo para medir a pressão de sucção na entrada da bomba, e um transdutor de vazão, do tipo turbina, para medir a quantidade de água movimentada pela bomba.

O sistema hidráulico proposto é constituído por uma carga hidráulica composta por tubos de $\frac{3}{4}$ de polegada conectados em paralelo com alturas manométricas distintas selecionadas por meio de três válvulas manuais que determinam a coluna manométrica a que será submetida à saída da bomba. Desta forma, a bomba poderá recalcar em condições de coluna de água distintas, que se traduzirão em torque a ser fornecido pelo o motor que aciona a bomba.

O sistema também é composto por um reservatório superior que recebe toda a água recalcada via um tubo $1\frac{1}{2}$ de polegada que está conectado às colunas em pontos distintos a cada altura.

A água é retirada de um poço pela bomba via o tubo de sucção dotado de uma válvula de pé, que tem por função evitar que a água escoe de volta ao poço e esvazie a tubulação do sistema. O poço utilizado é de baixa vazão e possui um nível dinâmico bastante lento em relação à capacidade de vazão da bomba. O sistema hidráulico da planta é mostrado na Fig. 3.

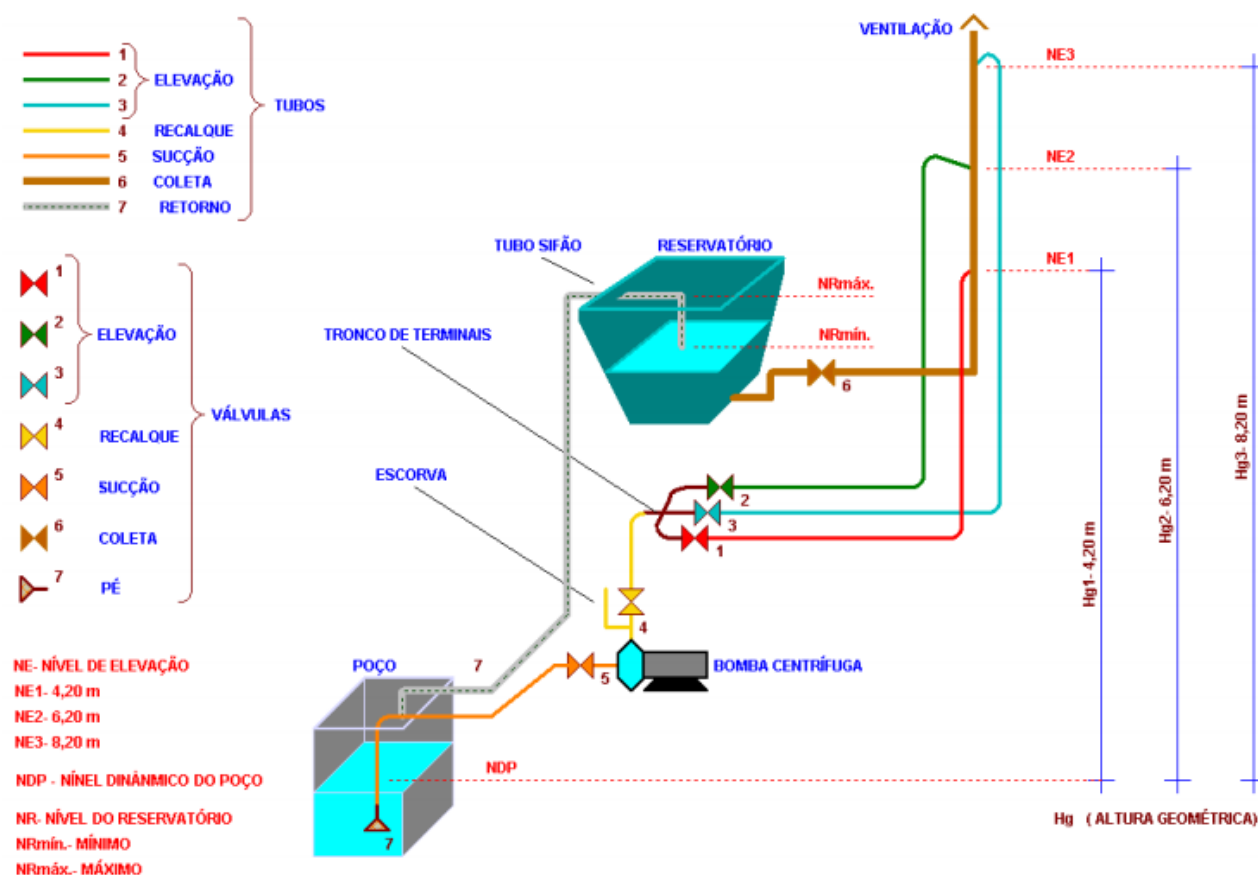


Figura 3 - Diagrama do sistema hidráulico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Pinho et al. (2008) a velocidade do vento tem característica sazonal, de forma que médias diárias e mensais são úteis para identificar os meses do ano onde ocorrerá menor e maior disponibilidade de energia.

A importância de tal observação dá-se devido à necessidade de se decidir pela inserção ou não de fontes complementares que possam prover os eventuais déficits de geração em épocas de menor disponibilidade do sistema de geração eólica. Assim, a forma mais usual de se analisar graficamente os dados estatísticos do vento é por meio de valores médios da velocidade do vento.

Dessa maneira, os resultados relativos ao comportamento do vento foram coletados no período de janeiro a dezembro na Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, no Laboratório de Energias Alternativas (LEA), situado no Campus do Pici, no espaço cedido pelo Departamento de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências Agrárias da UFC. O sistema está localizado a jusante do Açude da Escola de Agronomia e geograficamente a $-3,739863^\circ$ SUL de latitude e $-38,5741^\circ$ OESTE de longitude.

A Fig. 4 representa, através do histograma, distribuição de velocidades do vento no local em estudo. O histograma, elaborado com intervalos de velocidade de 1 m/s, mostra a curva de distribuição de Weibull.

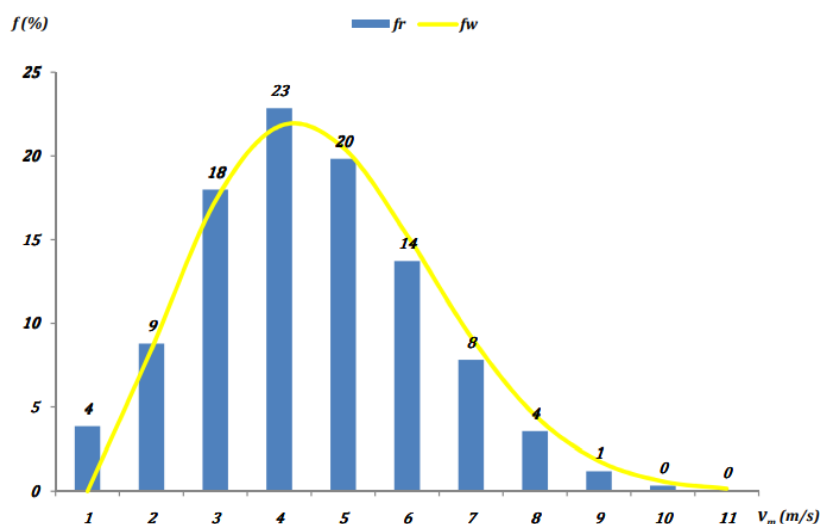


Figura 4 - Histograma e curva de Weibull em função da velocidade do vento.

Observa-se que a faixa de velocidade média do vento que ocorre com maior frequência encontra-se em torno de 4 m/s, que corresponde a 23% do período. No entanto, apesar da baixa frequência de elevadas velocidades de vento, a ocorrência de ventos na faixa de 4 a 6 m/s, que é propícia à geração de energia elétrica, ocorre em torno de 56% do período.

Um dia típico anual é representado pelo gráfico mostrado na Fig. 5, o qual mostra o comportamento diário da velocidade do vento.

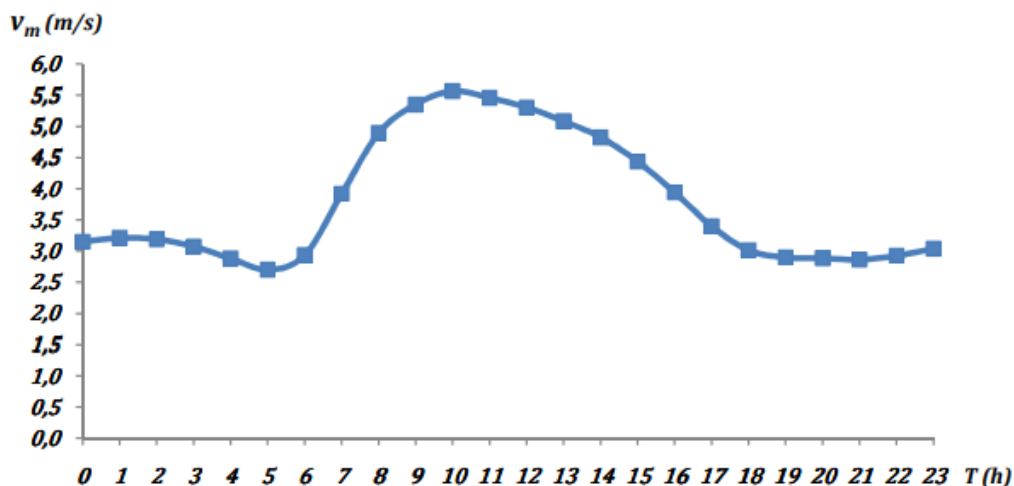


Figura 5 - Dia típico para os meses de janeiro a dezembro.

Analisando o gráfico é possível notar que entre 7 e 16 horas ocorrem as velocidades de vento de maior intensidade, com valores em torno de 5 m/s. Entre as 13 as 18 horas a velocidade média decresce até 3 m/s e se mantém praticamente estável até as 22 horas, onde volta a crescer até ultrapassar os 3m/s.

Para mensurar a quantidade de energia elétrica convertida a partir da eólica, recorreu-se as medições feitas pelo analisador de energia. De acordo com dados do *datalogger*, a velocidade média anual do vento situa-se em torno de 3,75 m/s e com base na curva energética da Fig. 6, é possível estimar que o gerador produza uma quantidade de energia elétrica de 48,5 kWh por mês.

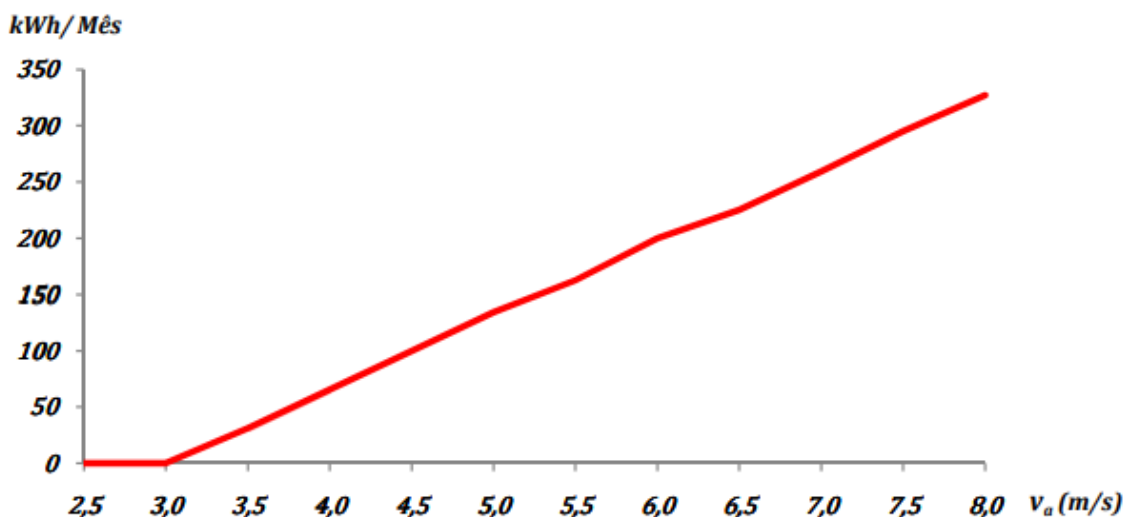


Figura 6 – Produção energética mensal do aerogerador em função da velocidade média do vento.

As curvas de potência absorvida pelo motor P_m e a curva da potência de saída do gerador P_g , em função da velocidade do vento são mostradas na Fig. 7. Apesar da capacidade do gerador de disponibilizar potência nominal de 1000 W, não foi observado demanda de potência acima de 395 W por parte conjunto motor-bomba uma vez que sua potência nominal é de $\frac{1}{2}$ cv, aproximadamente 368 W.

O valor de potência de 395 W ocorre por ocasião de sobrecarga, normalmente quando se dispõe de vazão em torno de 3,5 m³/h, a uma altura geométrica DT (Desnível total) igual a 3,9 m e para velocidades de vento acima de 9 m/s. Com relação à potência absorvida pelo conjunto motor-bomba e a potência que o gerador é capaz de disponibilizar na saída, verifica-se que estas não crescem linearmente em relação à velocidade do vento e ambas as curvas se afastam com o incremento da velocidade do vento.

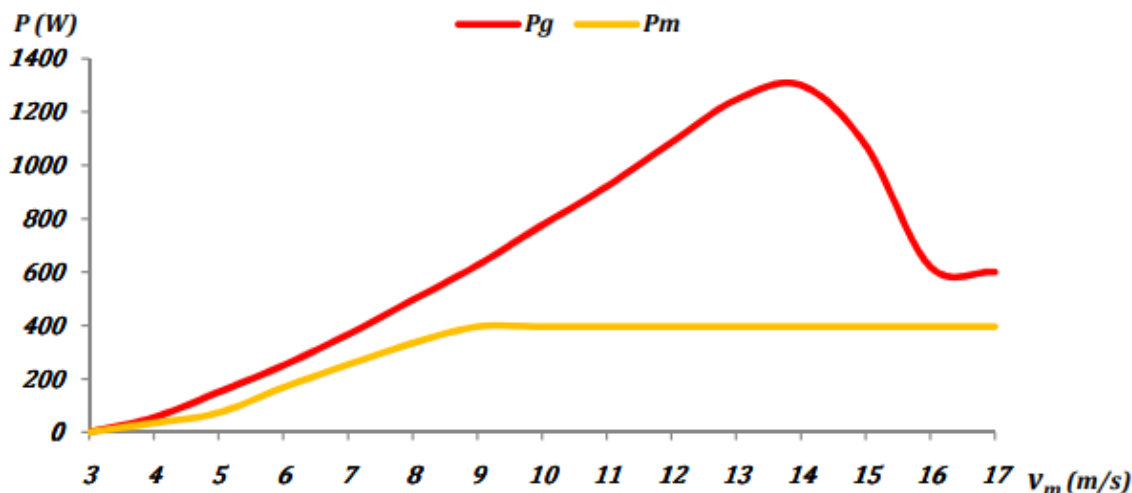


Figura 7 - Curvas de potência do motor P_m e do aerogerador P_g em função da velocidade de vento.

A curva de vazão da bomba em relação à velocidade do vento é mostrada na Fig. 8, vale salientar que a equação, obtida da linha de tendência dos gráficos, é válida para velocidades de vento maiores do que 3 m/s e menores do que 9 m/s. Essa limitação ocorre por causa da baixa frequência de valores de velocidade média do vento acima de 9 m/s, enquanto que o valor de 3 m/s é a velocidade em que a turbina inicia a rotação.

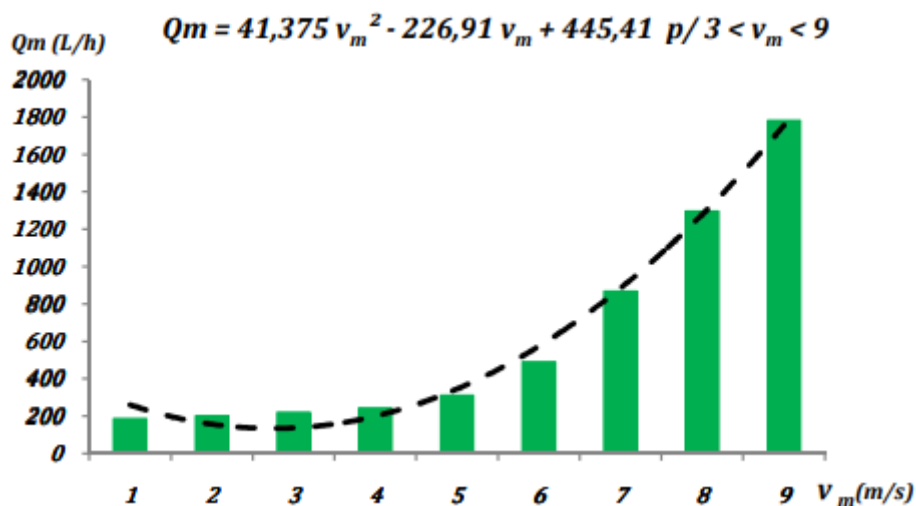


Figura 8 - Curva da vazão da bomba em função da velocidade média do vento.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho mostrou os detalhes construtivos e analisou os dados obtidos a partir de uma planta didática eólica elétrica, voltada para bombeamento de pequeno porte. Através de ensaios experimentais foi possível conhecer o comportamento do sistema e seus componentes. Diante dos resultados pode-se dizer que uma planta de caráter laboratorial permite a simulação de diversas situações de funcionamento e o desenvolvimento de novas técnicas que podem ajudar na melhoria do desempenho desse tipo de tecnologia e inclusive a dimensioná-los em função da demanda de onde estão instalados.

Pode-se dizer que o uso de sistemas eólicos de bombeamento de água isolados que empregam aerogeradores para acionar bombas centrífugas demonstra ser uma alternativa viável.

REFERÊNCIAS

- Custódio, R. S., 2009. Energia eólica para produção de energia elétrica, Eletrobrás, Rio de Janeiro.
- Lazaroiu, G. C., Dumbrava V., Costoiu M., Teliceanu M., Roscia M., 2015. Smart Campus-an energy integrated approach. International Conference on Renewable Energy Research and Applications, pp. 1497-1501.
- Ministério De Minas E Energia, 2018. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, pp. 6.
- Navidi, A., 2017. Energy management and planning in smart cities. 24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution, pp. 2723–2725.
- Pinho J. T., Barbosa C. F. O., Pereira E. J. S., Souza H. M. S., Blasques L. C. M., Galhardo M. A. B., Macedo W. N., 2008. Sistemas Híbridos - Soluções Energéticas para Amazônia, MME, Brasília.

SMALL WIND ELECTRIC WATER PUMPING PLANT FOR EDUCATION PURPOSES

Abstract. Growing demand for electricity and the need to make it reach geographically isolated locations is an opportunity to spread the use of clean and renewable energy sources, employ it in isolated communities with low energy demand, is more viable than building new transmission lines. In the Brazilian Northeast, many communities, geographically isolated or difficult to reach, also have problems related to water scarcity, although having strong wind and solar potentials wind or solar power generation. Thus, this work describes the development and assembly of an experimental wind electric system for water pumping. The built system consists of a wind generator, a three phase induction motor, a centrifugal pump and an electronic controller. The plant was monitored for one year and the collected data show its viability.

Key words: Wind Energy, Water Pumping.